

Daños en puentes históricos de arco de ladrillo en el Alto Cauca (Colombia)*

Damages on Historical Brick Arch Bridges in the Alto Cauca (Colombia)

Jorge Galindo Díaz
Jairo Andrés Paredes López

Resumen

Este artículo presenta, de manera ordenada, un conjunto de factores que causan daños importantes en puentes históricos de arco de ladrillo situados en la región suroccidente de Colombia conocida como Alto Cauca. Agrupados en tres categorías (causas naturales, errores en el proceso constructivo y por intervenciones del hombre), tales factores deben ser plenamente identificados como una labor previa a la conservación y rehabilitación de estas estructuras.

Palabras clave: daños estructurales, puentes de albañilería, patologías constructivas.

Abstract

This article presents, in organized manner, a set of factors that cause important damage on historical brick arch bridges located in the south west region

of Colombia known as "Alto Cauca". These are gathered into three categories (natural causes, errors in the construction process, and man's intervention). Such factors must be completely identified as a task prior to any preservation and restoration work on these types of structures.

Keywords: structural damage, brickwork bridges, construction pathologies.

Introducción

Hoy pocos dudan en reconocer que las estructuras históricas son un invaluable patrimonio de una nación y reflejo de su identidad cultural, pues unen el pasado con el presente. En muchas regiones de Sudamérica hay variados ejemplos de estas estructuras, y entre ellos destacan puentes de arco de ladrillo construidos en un extenso período que va de las postrimerías de la Colonia a los albores de la vida republi-

• Fecha de recepción del artículo: 12-08-2010 • Fecha de aceptación: 31-08-2010.

JORGE GALINDO DÍAZ. Arquitecto de la Universidad del Valle. Ph.D. de la Universidad Politécnica de Cataluña. Profesor titular de la Escuela de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. Correo electrónico: jagalindod@unal.edu.co. **JAIRÓ ANDRÉS PAREDES LÓPEZ.** Ingeniero Civil de la Universidad del Cauca. Maestría en Ingeniería Civil de la Universidad de los Andes. Profesor asociado del Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. Correo electrónico: japaredesl@unal.edu.co.

* Este artículo es resultado del proyecto de investigación *Puentes de arco de ladrillo en la región del Alto Cauca: una tradición constructiva olvidada. Fase 1: Inventario y diagnóstico y Fase 2: análisis numérico y modelización estructural*, financiado por la Dirección de Investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. Convocatoria DIMA 2006-2008.

cana; todos ellos, herederos de una tradición milenaria. Pero sólo algunos aún se mantienen en pie y en servicio. Infortunadamente, en Colombia los estudios relacionados con este tipo de edificaciones han sido escasos: si bien es posible encontrar algún artículo (Hincapié, 2000) o monografía (Paz, 1997) sobre un determinado puente histórico, casi no hay trabajos en los cuales se trate con propiedad sus valores arquitectónicos, sus propiedades ingenieriles o el análisis de su estructura, en su conjunto (Galindo y Paredes, 2008).

La investigación que soporta este artículo ha indagado por la génesis, la conservación y el comportamiento ante diferentes tipos de carga de más de una veintena de puentes de arco de ladrillo situados en la región geográfica del Alto Cauca (que comprende los actuales departamentos de Cauca y Valle del Cauca), erigidos entre los siglos XVIII y XIX, bajo la dirección de maestros de obras locales y artesanos formados en el oficio de la construcción. Dado su carácter singular, y en aras de exponer las particularidades técnicas que han afectado estos puentes a lo largo de su historia y su condición actual, la primera parte de este escrito hace una breve descripción de sus orígenes y los elementos que tradicionalmente los constituyen, con énfasis en los casos estudiados y en la manera como se adelantó la investigación; en la segunda se reseñan los factores más importantes que dan origen a daños detectables a simple vista y que pueden llegar a afectar la estabilidad de su estructura.

Puentes históricos de arco de ladrillo

Las primeras estructuras de arco de ladrillo son las tumbas subterráneas de los sumerios en Mesopotamia, que datan del año 3000 a.C. (Ural et al., 2008), aunque fueron los romanos quienes usaron formas abovedadas de piedra y ladrillo para la construcción de puentes de gran longitud y de acueductos, desarrollaron al máximo las técnicas involucradas en su proceso constructivo y consolidaron una práctica que se fue enriqueciendo con los años, hasta tal punto que continuó siendo vigente durante toda la

Edad Media y el Renacimiento europeo, para llegar a través de España al continente americano.

En Colombia es difícil determinar cuándo se erigió el primer puente de arco de ladrillo. Se tiene constancia de que en Pasto el puente llamado de La Carnicería fue construido entre 1587 y 1590 (Ortiz, 1948); en Santafé el puente de Bosa, sobre el río Tunjuelo, estaba en servicio en 1713; y en la ciudad de Popayán el puente de La Custodia, sobre el río Molino, se inauguró ese mismo año. El primero dio origen a una tradición de construcción que fue capaz de edificar, al menos en la región del Alto Cauca, un conjunto de 34 puentes de arco de ladrillo (Galindo y Paredes, 2008) con características geométricas y constructivas similares. La Figura 1 reproduce un puente típico de arco de albañilería y se señalan los términos con que se denominan sus partes estructurales.

Ahora bien, el proceso investigativo que soporta este artículo tuvo como punto de partida la observación simple de un conjunto de puentes de arco de ladrillo dispersos en la geografía del Alto Cauca, de manera especial los situados en la ciudad de Popayán (puentes sobre el río Cauca, puente de La Custodia, puente del Humilladero y puente de Julumito) y sobre los caminos que durante el siglo XIX comunicaban esta ciudad con Cali (puentes sobre los ríos Chiquito y Grande, en Caloto, y sobre los ríos Palacé, Ovejas, Piendamó, Pescador, Cofre y Güengüé). El ingeniero Aquilino Aparicio describió en 1873 las características de estas rutas, que aparecen consignadas en la Figura 2.

Una vez se pudo contar con un listado preliminar de doce puentes objeto de estudio se procedió a realizar dos labores: una fue un trabajo de campo destinado a reconocer físicamente cada una de las estructuras mediante la observación directa y el levantamiento planimétrico detallado y la toma de muestras de los materiales de los puentes en uso y de mayor escala; la otra labor fue una investigación documental a partir de informes escritos en la época de construcción, inspecciones posteriores durante su vida útil y revisión de fotografías y descripciones de viaje. De todo ello surgió un listado mucho más amplio que alcanzó más de treinta y seis puentes de características similares, todos ellos construidos

Diagrama de un sistema de drenaje de un tejado. Muestra la estructura de la cubierta con elementos como: Alentías, Material de relleno, Baranda ó Parapeto, Superficie de rodamiento, Estribo, Pila, Clave, Pilotes de madera, Introdós de las bóvedas, Rosca, Tajamares y Timpanos.

[illegible]

en las postrimerías del siglo XVIII, durante el siglo XIX y en el primer tercio del siglo XX. Adicionalmente se hizo necesario ampliar el marco geográfico de la investigación, que se extendió hacia los caminos del sur que conectaban Popayán con Pasto e Ipiales.

Como resultado de esta parte de la investigación fue posible hacer un registro más o menos detallado del estado de conservación de los puentes, en el cual se identificaron las más notables “patologías” que hoy en día los afectan, y pueden clasificarse según sus causas: por acciones de la naturaleza, por errores en el proceso constructivo y por acciones humanas. A continuación se hará una explicación de ellas y su presencia en algunos de los puentes analizados.

Factores que causan daños en puentes históricos

En Colombia muchos puentes históricos no han recibido la importancia ni el cuidado que se merecen. Pese a que todos ellos son símbolos únicos del patrimonio construido, no existen políticas claras para su conservación y defensa ante peligros naturales o artificiales que causan en ellos importantes daños, algunos irreversibles. A continuación se exponen, como se dijo, algunas de las causas de las fallas y los daños observados en varios puentes objeto de estudio y las principales causas de ello.

a. Crecientes de los ríos: En la región del Alto Cauca muchos de sus ríos presentan en ciertos períodos del año violentas corrientes, que generalmente causan pérdidas materiales e incluso humanas. Durante las crecientes enormes piedras y troncos de árboles arrastrados por el agua pueden fracturar el intradós de las bóvedas de los puentes, a lo que se suma el efecto de las presiones hidrodinámicas sobre sus tímpanos. Esto, por ejemplo, afectó el puente sobre el río Juanambú (construido en 1883) que fue destruido quince años después de su construcción como consecuencia de una fuerte crecida del curso del río a causa del represamiento de la quebrada La Resina, durante la erupción del volcán Doña Juana (Figura 3).

b. Daños causados por terremotos: La región del Alto Cauca es una de las más frecuentemente azotadas por fuertes movimientos sísmicos, lo cual, como es de esperarse, perjudica los puentes históricos. Los daños causados en ellos han afectado especialmente la parte media de los arcos principales; fracturas y separaciones entre la mampostería y la vía de rodamiento. También es común que haya leves desplazamientos laterales que provoquen daños globales a la estructura.

Se sabe bien que la mampostería simple se comporta mal frente a fuerzas de tensión. No se tiene constancia del uso de elementos metálicos embebidos en la mampostería de los puentes caucanos, tal como ocurre en otros ejemplos destacados de la historia de la ingeniería, que bien podrían ayudar a minimizar el efecto de las fuerzas horizontales sobre la estructura.

A manera de ejemplo, vale la pena mencionar que el arco principal del puente sobre el río Cauca, en la ciudad de Popayán (Figura 4), construido entre 1769 y 1773, fue prácticamente destruido durante el terremoto que sacudió a la ciudad en 1827. En 1840 el puente fue reconstruido bajo la dirección del ingeniero polaco Estanislao Zawadsky y todavía hoy se encuentra en pie y en servicio al tráfico vehicular.

c. Vegetación y colonización biológica: La falta de mantenimiento periódico y la acumulación de humedad por fallas en el sistema de drenaje de los puentes son situaciones que promueven el crecimiento de vegetación sobre sus muros y sobre su superficie de rodamiento. Las plantas que se asientan sobre la estructura en muchos casos introducen sus raíces hasta el material de relleno, del cual varios tipos de microorganismos son capaces de obtener elementos necesarios para su metabolismo (calcio, aluminio, hierro y potasio) por efecto de bio-solubilización (Ural et al., 2008). Este proceso implica, además, la producción de varios ácidos orgánicos e inorgánicos por algas, líquenes, hongos y bacterias, que deterioran la superficie de los ladrillos. Un ejemplo de este fenómeno es el puente sobre el río Quilcacé (construido

Figura 3

Restos del puente sobre el río Juanambú, en cercanías de la población de Buesaco (Nariño)



Figura 4

Arco principal del puente sobre el río Cauca, en Popayán, destruido por el terremoto de 1827 y reconstruido en 1840



probablemente en 1875), en el camino entre Popayán y Pasto (Figura 5).

Daños por errores en el proceso constructivo

a. Asentamiento diferencial de las pilas y los estribos: En algunos puentes hay daños graves en las pilas y los estribos y suelen manifestarse mediante grietas que pueden extenderse longitudinalmente por todo el intradós de las bóvedas. La causa de esta condición es en muchos casos el asentamiento diferencial que se produce en las superficies de apoyo sobre terrenos que por lo general tienen distintos grados de humedad, aunque también es posible encontrar fallas por mala cimentación. En otros casos tales daños se presentan por la acción erosiva del flujo del agua en la superficie de apoyo de las pilas o en los costados de los estribos. Igualmente es posible que intervenciones estructurales recientes, como el recalce de las bases con hormigón que se hizo en el puente sobre el río Güengüé (construido entre 1890-97), pueden producir asentamientos diferenciales importantes en la concentración del peso propio (Figura 6).

b. Deficiencias en el drenaje y mala impermeabilización de la superficie de rodamiento: El sistema de drenaje de la superficie de rodamiento y su impermeabilización afectan el comportamiento de los puentes en diferentes aspectos: si alguno de los dos no funciona adecuadamente el agua lluvia se filtrará hacia el interior de la estructura que se encuentra ocupado por el material granular de relleno. En algunas circunstancias, los materiales finos serán arrastrados hacia afuera, lo que generará vacíos y afectará la capacidad de carga de los puentes; en otras, la acumulación de agua en el interior de la estructura aumentará el valor de los empujes laterales, la cual intentará desplazar los tímpanos hacia afuera. Ambos fenómenos también pueden presentarse de manera simultánea, tal y como ocurre en el puente sobre el río Ovejas (construido entre 1877-78), en el camino que unía a Cali con Popayán (Figura 7).

c. Poca durabilidad de los materiales de mampostería: Si los materiales de la mampostería tienen un mal comportamiento frente a condiciones ambientales, se deteriorarán y causarán daños al puente en el transcurso del tiempo. Generalmente, la mala calidad de los ladrillos tiene su origen en deficientes procesos de producción: baja

Figura 5

Vegetación abundante y colonización biológica sobre el puente de Quilcacé



Figura 6

Fisuras en la base de las pilas del puente sobre el río Güengüé, en la vía entre Miranda y Corinto (Cauca)



Figura 7

Puente sobre el río Ovejas. A la izquierda, tímpanos desplazados hacia afuera por efecto del empuje horizontal del material de relleno. A la derecha, desgaste de la superficie de rodamiento por el tránsito de personas y animales



temperatura de horneado, heterogeneidad de la materia prima, cortos tiempos de cocción, entre otros. En el puente sobre el río Grande, en Caloto (construido entre 1903-06), son evidentes serios procesos de meteorización

del material arcilloso que se han traducido en una escasa capacidad portante de la estructura, al punto de obligar su cierre al tráfico vehicular (Figura 8).

Figura 8

Puente sobre el río Grande en Caloto (Cauca). A la derecha, vista de los ladrillos de los tímpanos, que han desaparecido por meteorización



Daños por acciones humanas

a. Cargas excesivas e irregulares: Es bien sabido que con el paso del tiempo se han producido profundos cambios en las cargas de los puentes y se han incrementado considerablemente en las últimas décadas. Muchos puentes históricos, como el de Popayán sobre el río Cauca (construido entre 1769-73), se encuentran hoy sometidos a elevadas cargas de tráfico (Figura 9), lo que produce un incremento de las tensiones y especialmente vibraciones mecánicas sobre el conjunto de la estructura. Afortunadamente, la resistencia mecánica de los materiales de los puentes antiguos de albañilería es en muchos casos suficiente para soportar cargas vivas elevadas (Galindo y Paredes, 2007).

b. Intervenciones estructurales recientes en hormigón armado: El desconocimiento del comportamiento mecánico de edificaciones históricas ha llevado a que algunos ingenieros acudan a prácticas incorrectas para adecuarlas o repararlas, lo que a mediano plazo no hace más que aumentar el riesgo de dañarlas al afectar la estabilidad estructural del conjunto. Por ejemplo, para reforzar el puente sobre el río Juanambú (construido en 1893, en inmediaciones de El Tablón de Gómez), en intervención realizada en 1990 se, optó por construir dos arcos paralelos de hormigón adheridos al intradós de la bóveda del arco principal (Figura 10). Si bien el proyecto fue bien intencionado, con esta

solución no se resolvió el mayor problema de la edificación: la progresiva separación de los tímpanos a causa del aumento de las presiones horizontales ejercidas por el material de relleno. A su vez, los arcos de concreto incrementaron la rigidez de la estructura, lo cual afectó seriamente su capacidad de deformación y aumentó la cantidad de las fisuras en varios puntos del puente. Hoy se encuentra cerrado al tráfico vehicular.

c. Conflicto armado: En Colombia el conflicto armado también se ha vuelto un factor de amenaza para las construcciones históricas. En la población de Caloto, objeto de varias tomas por parte del grupo guerrillero Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia, Farc, diversas edificaciones han resultado afectadas por el fuego cruzado; entre ellas la cárcel municipal (enteramente de ladrillo) y el contiguo puente sobre el río Chiquito (construido en 1918), que hoy deja ver sus barandas totalmente reconstruidas (Figura 11).

Conclusión

La investigación relacionada con estructuras históricas requiere de una combinación de recursos metodológicos que pasan necesariamente por la búsqueda documental y el trabajo de reconocimiento directo, se involucra diversas disciplinas y modos de actuación. Resultado de ello es una

Figura 9

Paso de camiones y buses urbanos por el puente de albañilería sobre el río Cauca, Popayán



Figura 10

Intervención estructural reciente que consistió en la construcción de arcos de hormigón adheridos al intradós de la bóveda del arco principal del puente sobre el río Juanambú, en inmediaciones de El Tablón de Gómez (Nariño)



Figura 11

Puente sobre el río Chiquito en Caloto (Cauca), cuyos pasamanos han sido destruidos en medio de acciones militares



lectura de diversos niveles, que aunque pueden expresarse independientemente, en conjunto permiten obtener una visión íntegra del hecho constructivo.

La observación directa, paso inicial del método científico, aporta de entrada valiosa información sobre el objeto de estudio y obliga, en ocasiones, a ampliar los marcos cronológicos y geográficos del proceso investigativo. En este caso, además, es una parte importante del proceso de lectura del edificio, dicho proceso entendido como documento. Adicionalmente, el trabajo de gabinete, a partir de textos escritos, relatos orales y fotografías, enriquece la mirada de quien observa.

De otra parte, el análisis de la estructura de los puentes es una labor complicada que requiere especial cuidado para comprender el comportamiento de sus materiales de construcción (casi siempre dentro de rangos no lineales) y el grado de respuesta estructural frente a diferentes tipos de acciones, lo que se traducen, en muchos casos, en proyectos costosos tanto en su fase de diseño como de ejecución. Sin embargo, es perfectamente viable adelantar sencillas labores de

mantenimiento y prevención que serían suficientes para evitar que en muchas de esas estructuras los niveles de daño sigan incrementándose año tras año y que pongan en peligro la existencia misma de las edificaciones, y con ellas todo lo que representan. Para ello es necesario identificar, en una primera etapa, sus principales “patologías” y pensar en sus causas.

Bibliografía

- APARICIO, Aquilino (1873): “Estado de los caminos entre las ciudades de Cali y Popayán”. *Registro oficial del Cauca*, (19). 13 de diciembre. Publicación oficial del Estado Soberano del Cauca. pp. 4-6.
- GALINDO, Jorge y PAREDES, Jairo (2007). “Análisis de un edificio histórico usando MEF: el puente de La Libertad, en Buga – Valle del Cauca (1874)”. *Ciencia e ingeniería Neogranadina*, 17(2), pp. 21-40.
- GALINDO, Jorge y PAREDES, Jairo (2008). *Puentes de arco de ladrillo en la región del Alto Cauca. Una tradición constructiva olvidada*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

- HINCAPIÉ, Ricardo (2000). “Puentes antiguos sobre el río Cali”. *Revista CITCE*, (3), Universidad del Valle. pp. 3-30.
 - PAZ, Pedro (1997). *Historia del puente del Humilladero de Popayán*. Popayán: Imprenta Departamental.
 - URAL, Ali. ORUÇ, Seref. DOGANGUN, Adem y TULUK, Iskender (2008). “Turkish historical arch bridges and their deteriorations and failures”. *Engineering Failure Analysis*, 15(1-2), pp. 1350-6307.
 - ORTIZ, Sergio Elías (1948). *Crónicas de la ciudad de San Joan de Pasto*. Pasto: Imprenta Departamental. 1948.
-